

# Netz

## Formeln der Elektrotechnik und Elektronik

herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. habil. Albrecht Möscher



# Inhaltsverzeichnis

## Wichtige physikalische Konstanten

## Umrechnungen abgeleiteter SI-Einheiten

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik/Elektronik</b>	<b>. . . . . 19</b>
	<i>von Albrecht Möschwitzer</i>	
1.1	Physikalische Grundlagen (Elektrophysik)	. . . . . 19
1.1.1	Atommodell und Besonderheiten im atomaren Bereich	. . . . . 19
1.1.2	Stromfluß und Vorgänge im Gas und im Vakuum	. . . . . 21
1.1.2.1	Charakterisierung eines Teilchengases	. . . . . 21
1.1.2.2	Teilchenbewegung im Gas	. . . . . 22
1.1.2.3	Generation und Rekombination von Ladungsträgern	. . . . . 22
1.1.2.4	Elektronenemission	. . . . . 23
1.1.2.5	Anlaufstrom gegen eine Potentialbarriere	. . . . . 24
1.1.2.6	Beschleunigung von Elektronen im Vakuum durch ein elektrisches Feld	. . . . . 24
1.1.2.7	Elektronenbewegung im Vakuum unter dem Einfluß eines magnetischen Feldes	. . . . . 24
1.1.2.8	Elektronenbewegung im Vakuum unter dem Einfluß elektrischer Felder	. . . . . 24
1.1.2.9	Elektronenbewegung im Vakuum bei gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern	. . . . . 24
1.1.3	Stromfluß und Vorgänge im Festkörper	. . . . . 29
1.1.3.1	Bandstruktur und Bändermodell	. . . . . 29
1.1.3.2	Ladungsträgerverteilung	. . . . . 30
1.1.3.3	Halbleiter mit Störstellen	. . . . . 31
1.1.3.4	Stromdichtegleichungen und Leitfähigkeit	. . . . . 32
1.1.3.5	Kontinuitätsgleichungen	. . . . . 33
1.1.3.6	Rekombination und Generation der Ladungsträger im Halbleiter	. . . . . 33
1.1.3.7	Raumladungen in Halbleitern	. . . . . 34
1.1.3.8	MIS-Strukturen	. . . . . 34
1.1.3.9	Metall-Halbleiter-Kontakt	. . . . . 36
1.1.3.10	PN-Übergänge	. . . . . 36
1.1.3.11	Besondere Effekte in Halbleitern	. . . . . 36
1.1.4	Stromleitung in Flüssigkeiten	. . . . . 42
1.1.4.1	Elektrolytische Stromleitung	. . . . . 42
1.1.4.2	Materialtransport im Elektrolyten (Faradaysches Gesetz)	. . . . . 43
1.1.4.3	Entstehung von Urspannungen im Elektrolyten	. . . . . 43
1.1.5	Stoffe im elektrischen und magnetischen Feld	. . . . . 44
1.2	Elektromagnetische Felder (Feldtheorie)	. . . . . 45
1.2.1	Maxwellsche Gleichungen	. . . . . 45
1.2.2	Poyntingscher Satz	. . . . . 45
1.2.3	Elektrostatische Felder	. . . . . 45
1.2.3.1	Grundgleichungen	. . . . . 45
1.2.3.2	Bedingungen an Grenzflächen	. . . . . 46
1.2.3.3	Potentialverteilung bei vorgegebener Ladungsverteilung	. . . . . 46
1.2.3.4	Einfache elektrostatische Felder	. . . . . 47

1.2.3.5	Kapazitäten von Elektrodenanordnungen . . . . .	48
1.2.3.6	Potentialkoeffizienten und Teilkapazitäten in Mehrleitersystemen . . . . .	50
1.2.3.7.	Konforme Abbildung zur Berechnung von Feldbildern . . . . .	52
1.2.3.8	Kräfte und Energien im elektrostatischen Feld . . . . .	52
1.2.4	Stationäre Strömungsfelder (Gleichstromfelder) . . . . .	53
1.2.4.1	Grundgleichungen . . . . .	53
1.2.4.2	Bedingungen an Grenzflächen . . . . . V . . . . .	53
1.2.4.3	Einfache stationäre Strömungsfelder . . . . .	53
1.2.4.4	Ausbreitungswiderstände von Strömungsanordnungen (Erder) . . . . .	55
1.2.5	Magnetfelder von Gleichströmen . . . . .	62
1.2.5.1	Grundgleichungen . . . . .	62
1.2.5.2	Bedingungen an Grenzflächen . . . . .	62
1.2.5.3	Berechnung magnetischer Felder stromdurchflossener Leiter . . . . .	63
1.2.5.4	Einfache Magnetfelder . . . . .	63
1.2.5.5	Magnetische Kreise und Induktivität . . . . .	63
1.2.5.6	Induktivität einfacher Anordnungen . . . . .	64
1.2.5.7	Kräfte und Energien im Magnetfeld . . . . .	65
1.2.6	Quasistationäre Felder . . . . .	70
1.2.6.1	Grundgleichungen . . . . .	70
1.2.6.2	Induktionsgesetz . . . . .	70
1.2.6.3	Selbst- und Gegeninduktion . . . . .	70
1.2.6.4	Gegeninduktivitäten (Beispiele) . . . . .	70
1.2.6.5	Wirbelströme. Skineffekt . . . . .	71
1.2.7	Elektromagnetische Wellen . . . . .	72
1.2.7.1	Allgemeine Wellengleichungen . . . . .	72
1.2.7.2	Hertzscher Dipol im Vakuum . . . . .	72
1.2.7.3	Senkrecht zur Grenzfläche verlaufende ebene Welle. . . . .	73
1.2.7.4	Wellenausbreitung längs Leitungen . . . . .	73
1.3	Stromkreisberechnung (Netzwerke) . . . . .	78
1.3.1	Kirchhoffsche Sätze . . . . .	78
1.3.2	Strom- und Spannungsteilerregel . . . . .	78
1.3.3	Zusammenschaltung von Widerständen. . . . .	78
1.3.4	Stern-Dreieck-Umwandlung . . . . .	79
1.3.5	Zweipoltheorie - Grundstromkreis . . . . .	79
1.3.6	Leistungsumsatz im Grundstromkreis . . . . .	79
1.3.7	Berechnung von Stromkreisen bei sinusförmiger Wechselspannung . . . . .	80
1.3.7.1	Grundzweipole bei sinusförmiger Erregung . . . . .	80
1.3.7.2	Komplexe Rechnung der Wechselstromtechnik . . . . .	80
1.3.7.3	Spezielle Wechselstromschaltungen . . . . .	82
1.3.8	Brückenschaltungen . . . . .	83
1.3.9	Transformator . . . . .	84
1.3.10	Mehrwellige Wechselgrößen . . . . .	85
1.3.11	Wechselstromleistung . . . . .	85
1.3.12	Schaltvorgänge. . . . .	86
1.3.13	Rauschvorgänge. . . . .	86

<b>2</b>	<b>Elektronische Bauelemente und Schaltungen</b>	<b>93</b>
	<i>von Albrecht Möschwitz</i>	
2.1	Elektronenröhren	93
2.1.1	Diode	93
2.1.2	Triode	93
2.1.3	Pentode	93
2.1.4	Bildröhren (Elektronenstrahlröhren)	94
2.2	Halbleiterdioden und ihre Grundschaltungen	96
2.2.1	Funktionsmodell des PN-Überganges	96
2.2.2	Kennwerte und Kennlinien verschiedener Diodentypen	97
2.2.2.1	Richtdioden	97
2.2.2.2	Schaltdioden	97
2.2.2.3	Z-Dioden	98
2.2.2.4	Kapazitätsdioden (Varaktordioden)	98
2.2.2.5	Schottkydioden	98
2.2.2.6	Tunneldioden	99
2.2.2.7	Optoelektronische Dioden	99
2.2.3	Gleichrichterschaltungen	100
2.2.3.1	Einwegschaltung	100
2.2.3.2	Zweiwegschaltung	100
2.2.3.3	Brückenschaltung	101
2.2.3.4	Spannungsverdopplerschaltung	101
2.3	Transistoren	106
2.3.1*	Funktionsmodell des Bipolartransistors	106
2.3.2	Kennwerte und Kennlinien des Bipolartransistors	107
2.3.2.1	Kennlinien für Basisschaltung	107
2.3.2.2	Kennlinien für Emitterschaltung	107
2.3.2.3	Thermisches Verhalten	107
2.3.2.4	Vierpolparameter und Ersatzschaltungen	108
2.3.2.5	Grenzfrequenzen	109
2.3.2.6	Schaltzeiten	109
2.3.2.7	Rauschzahl in Emitter- und Basisschaltung	110
2.3.3	Funktionsmodell des Sperrschicht-Feldeffekttransistors	115
2.3.4	Funktionsmodell des MOS-Feldeffekttransistors	116
2.3.5	Kennlinien und Kennwerte des MOS-Feldeffekttransistors	116
2.3.5.1	Ausgangs- und Transferkennlinien	116
2.3.5.2	Thermisches Verhalten	116
2.3.5.3	Hochfrequenz-Kleinsignalverhalten	117
2.3.5.4	Schaltzeiten	118
2.4	Verstärker und Oszillatoren	121
2.4.1	Transistor in einer allgemeinen Verstärkerschaltung	121
2.4.2	Verstärkergrundschaltungen mit 1 Transistor	122
2.4.3	Verstärkerschaltungen mit 2 Transistoren	125
2.4.4	Leistungsverstärker	127
2.4.5	Oszillatorschaltungen	127
2.4.6	Operationsverstärker	128
2.5	Digitale Transistorschaltungen	135
2.5.1	Inverter	135
2.5.2	Logikgatter	136
2.5.3	"Flipflops"	137
2.5.4	Trigger und Vibratoren	137

2.6	Analog-Digital- und Digital-Analog-Umsetzer	140
2.6.1	Grundlagen	140
2.6.2	DA-Umsetzer (DAU)	141
2.6.3	AD-Umsetzer (ADU)	141
<b>3</b>	<b>Signalübertragung</b>	<b>143</b>
	<i>von Gottfried Fritzsche</i>	
3.1	Grundlagen	143
3.1.1	Signale	143
3.1.2	Systeme	146
3.1.3	Signal- und Informationsübertragung	148
3.1.4	Funktionaltransformationen	149
3.1.4.1	(Zweiseitige gewöhnliche) Fouriertransformation (FT)	149
3.1.4.2	(Einseitige) Laplacetransformation (LT)	151
3.1.4.3	(Einseitige) Z-Transformation (ZT)	154
3.1.5	Korrelationsfunktionen	156
3.2	Netzwerke und Leitungen	160
3.2.1	Analogzweipole	160
3.2.2	Analogvierpole	165
3.2.2.1	Elementare Vierpoltheorie	165
3.2.2.2	Homogene elektrische Leitungen	167
3.2.2.3	Vierpoltheorie	173
3.2.3	Zeitdiskrete Netzwerke	186
3.2.4	Synthese von Analogzweipolen	190
3.2.4.1	Zweipolsiebschaltungen und Dämpfungsentzerrer (als einfache Spezialfälle)	190
3.2.4.2	Synthese von RLCü-Zweipolen	192
3.2.5	Synthese von Analogvierpolen	198
3.2.5.1	Anpassungs- und Dämpfungsglieder	198
3.2.5.2	Zulässige Funktionen	202
3.2.5.3	Filterapproximationen	204
3.2.6	Synthese aktiver RC-Vierpole	214
3.2.7	Entwurf zeitdiskreter Netzwerke (Digitalfilter)	221
3.3	Modulation	226
3.4	Systemtheorie	230
3.4.1	Signaltheorie	231
3.4.2	Systemtheorie der Schaltvorgänge	232
3.4.3	Systemtheorie der Rauschvorgänge	234
3.4.4	Optimalfilterung	236
3.5	Nachrichtenübertragung (Telekommunikation)	239
<b>4</b>	<b>Höchstfrequenztechnik. Antennen. Lichtwellenleiter</b>	<b>242</b>
	<i>von Walter Nowak</i>	
4.1	Wellenmäßige «-Tor-Beschreibung	242
4.1.1	Definition und Eigenschaften der Streumatrix	242
4.1.2	Ersatzwellenquelle	243
4.1.3	Streumatrizen von «-Toren	243
4.1.4	Zusammenschaltung von >i-Toren. Masongraph	246
4.1.5	Analyse symmetrischer Viertore	248

4.2	Leitungen und Leitungsschaltungen	254
4.2.1	TEM- und Quasi-TEM-Verhalten	255
4.2.2	Leistungsparameter	257
4.2.3	Mikrostripschaltungen	259
4.2.4	Leistungsresonatoren. Topf kreis	259
4.2.5	Aktive Bauelemente und Schaltungen	260
4.3	Hohlleiter u n d Hohlraumresonatoren	263
4.3.1	Hohlleiter	263
4.3.2	Hohlraumresonatoren	266
4.4	Antennen	267
4.4.1	Grundlagen.	267
4.4.2	Richtdiagramme von Einzelstrahlern, Stabstrahler	268
4.4.3	Antennenzeilen, -spalten, -wände, Flächenantennen	269
4.4.4	Eingangswiderstand. Bandbreite	270
4.4.5	Yagiantennen.	271
4.5	Lichtwellenleiter (L W L).	276
4.5.1	Grundlegende Begriffe	276
4.5.2	Materialeigenschaften. Materialdispersion	277
4.5.3	Selbstkonsistente Strahlen (Moden) des Schichtwellenleiters	278
4.5.4	Analyse von Multimoden-LWL. Modendispersion	278
4.5.5	Wellerioptische Ergebnisse. Monomodens-LWL	279
<b>5</b>	<b>Elektroakustik</b>	<b>282</b>
	<i>von Johannes Herhold und Gottfried Schroth</i>	
5.1	Schallfeld	282
5.1.1	Grundgleichungen.	282
5.1.2	Schallerzeugung und-ausbreitung	284
5.2	Physiologische Akustik	292
5.2.1	Lautstärke und Lautheit	292
5.2.2	Tonhöhe.	293
5.2.3	Verzerrungen.	294
5.3	Analogien	295
5.3.1	Elektromechanische Analogien.	295
	5.3.1.1 Elektrisches System - mechanisches Translationssystem	295
	5.3.1.2 Elektrisches System - mechanisches Rotationssystem	296
5.3.2	Elektroakustische Analogien	296
5.4	Elektroakustische Wandler	299
5.4.1	Allgemeine Wandlerbeziehungen.	299
5.4.2	Wandlerprinzipien.	300
	5.4.2.1 Magnetische Wandler.	300
	5.4.2.2 Elektrische Wandler	301
	5.4.2.3 Mechanisch-akustische Wandler	302
5.4.3	Ausführungen elektroakustischer Wandler	303
	5.4.3.1 Schallsender (Lautsprecher)	303
	5.4.3.2 Schallempfänger (Mikrofone)	304
5.5	Beschallungstechnik	311
5.5.1	Schallführungen.	311
5.5.2	Schallverstärkung *	313

5.6	Speicherung akustischer Signale	316
5.6.1	Schallplatte	316
5.6.2	Magnetband	317
<b>6</b>	<b>Regelungstechnik</b>	<b>3 2 0</b>
	von Helmut Bischoff	
6.1	Übertragungsglieder. Modellbildung	320
6.1.1	Kennfunktionen elementarer Übertragungsglieder	320
6.1.2	Regelstrecken	323
6.1.2.1	Proportionale Regelstrecken (P-Strecken)	323
6.1.2.2	Integrale Regelstrecken (I-Strecken)	324
6.1.3	Regler	325
6.1.3.1	Prinzipschaltungen	325
6.1.3.2	Kennfunktionen	325
6.1.4	Korrekturglieder	325
6.2	Xineare stetige Regelungssysteme	331
6.2.1	Zusammenschaltung von Übertragungsgliedern	331
6.2.1.1	Reihenschaltung	331
6.2.1.2	Parallelschaltung	331
6.2.1.3	Rückführschaltung	331
6.2.2	Einschleifige Regelkreise	332
6.2.2.1	Grundgleichungen	332
6.2.2.2	Regelfaktor	332
6.2.2.3	Gütekriterien	332
6.2.3	Stabilität	333
6.2.3.1	Offene Ketten	333
6.2.3.2	Geschlossene Kreise	334
6.2.3.3	Näherungsformeln	335
6.2.4	Einstellregeln	335
6.2.4.1	„Ziegler/Nichols (Störverhalten)“	335
6.2.4.2	Chien/Hrones/Reswick	337
6.2.4.3	Reinisch (auszugsweise, Führungsverhalten)	337
6.2.5	Vermaschte Regelkreise	337
6.2.5.1	Störgrößenaufschaltung	337
6.2.5.2	Kaskadenregelung	338
6.2.6	Mehrgrößenregelungen	338
6.2.6.1	Grundgleichungen	338
6.2.6.2	Stabilität	339
6.2.6.3	Entkopplung (Eigen- und Führungsautonomie)	339
6.2.6.4	Regelungen mit Zustandsrückführung	340
6.3	Nichtlineare Regler und Regelkreise	353
6.3.1	Zweipunktregelkreise	353
6.3.1.1	PTiTL-Strecke	353
6.3.1.2	ITL-Strecke	354
6.3.2	Zweilaufregelkreis	354
6.3.3	Stetigähnlicher PI-Regler	354
6.3.4	Beschreibungsfunktion	356
6.4	Abtastregelungen	359
6.4.1	Grundgleichungen	359
6.4.2	Stabilität	361

6.4.3	Regelalgorithmen . . . . .	361
6.4.3.1	Regelübertragungsfunktionen . . . . .	361
6.4.3.2	PID-Stellungsregler. . . . .	362
6.4.3.3	Deadbeat-Regler. . . . .	364
6.4.3.4	Minimalvarianzregler. . . . .	365
<b>7</b>	<b>Elektrische Meßtechnik.</b> . . . .	<b>369</b>
	<i>von Uwe Frühauf</i>	
7.1	Grundlagen . . . . .	369
7.1.1	Meßmethoden und Meßsystemstrukturen . . . . .	369
7.1.2	Meßsignalkenngrößen . . . . .	370
7.1.3	Meßfehler. . . . .	372
7.1.3.1	Grunddefinitionen . . . . .	372
7.1.3.2	Fehlerrechnung . . . . .	373
7.1.3.3	Meßfehlerstatistik . . . . .	373
7.1.4	Meßgeräte. Anzeigeelemente! . . . . .	377
7.2	Meßkreise. Meßfühler . . . . .	378
7.2.1	Wechselspannungsmeißkreise . . . . .	378
7.2.2	Strommeißkreise . . . . .	380
7.2.3	Sensoren für magnetische Größen . . . . .	381
7.2.4	Meßfühler mit elektrischer Ausgangsgröße. . . . .	381
7.3	Gießverfahren . . . . .	385
7.3.1	Spannungsmeißverfahren. . . . .	385
7.3.2	Strommeißverfahren . . . . .	386
7.3.3	Komponentenmeißverfahren. . . . .	387
7.3.3.1	Strom-Spannungs-Messung . . . . .	387
7.3.3.2	Stromgetriebene Spannungsmessung. Spannungsgetriebene Strommessung . . . . .	387
7.3.3.3	Komponentenvereinzelung . . . . .	388
7.3.3.4	Brückenschaltungen . . . . .	388
7.3.3.5	Meßschaltungen für Vierpolparameter . . . . .	390
7.3.4	Oszilloskopmeißverfahren . . . . .	392
7.3.5	Zeitkenngrößenmeißverfahren . . . . .	393
<b>8</b>	<b>Elektrische Maschinen</b> . . . . .	<b>396</b>
	<i>von Helmut Böhme</i>	
8.1	Spannungsinduktion in elektrischen Maschinen . . . . .	396
8.2	Drehfeld . . . . .	396
8.3	Synchronmaschine . . . . .	398
8.3.1	Aufbau . . . . .	398
8.3.2	Wirkungsweise. . . . .	398
8.3.3	Vollpolmaschine . . . . .	398
8.3.4	Schenkelpolmaschine . . . . .	400
8.4	Asynchronmaschine . . . . .	402
8.4.1	Aufbau . . . . .	402
8.4.2	Wirkungsweise . . . . .	403



.5	Wechselstrom-Kommutatormaschine . . . . .	406
.6	Gleichstrommaschine . . . . .	407
.6.1	Aufbau . . . . .	407
.6.2	Stromwendung . . . . .	407
.6.3	Wirkungsweise. . . . . V . . . . .	407
.7	Transformator . . . . .	412
.7.1	Ersatzschaltung . . . . .	412
.7.2	Drehstromtransformator. . . . .	413
<b>9</b>	<b>Elektrische Apparate und Leistungselektronik . . . . .</b>	<b>416</b>
	von <i>Helmut Böhme</i> <	
9.1	Stromleitungsanordnungen . . . . .	416
9.1.1	Thermische Beanspruchungen . . . . .	416
9.1.2	Mechanische Beanspruchung . . . . .	424
9.2	Kontakte . . . . .	428
9.3	Schaltlichtbogen-Schalter. . . . .	429
9.3.1	Charakteristik $\sigma_B = I(I)$ . . . . .	429
9.3.2	Gleichstrom-Schaltlichtbogen. . . . .	430
9.3.3	Wechselstrom-Schaltlichtbogen . . . . .	430
9.4	Thermobimetalle. . . . .	432
9.5	Elektromagnete. . . . .	433
9.5.1	Aufbau. . . . .	433
9.5.2	Magnetkraft . . . . .	433
9.6	Leistungselektronik . . . . . ; • • ' ,	436
9.6.1	Bauelemente. . . . .	436
9.6.2	Gleichrichter . . . . .	436
9.6.3	Wechselrichter ; . . . . .	436
9.6.4	Wechselstromsteller . . . . .	443
9.6.5	Kurzschluß . . . . .	444
<b>10</b>	<b>Hochspannungsisolieretechnik. . . . .</b>	<b>448</b>
	von <i>Helmut Böhme</i>	
10.1	Feldstärkebeanspruchung . . . . .	449
10.2	Durchschlag . . . . .	451
10.2.1	Durchschlag in Gasen . . . . . I . . . . .	451
10.2.2	Durchschlag in Feststoffen . . . . .	452
10.2.3	Überschlag längs Grenzflächen . . . . .	452
10.2.4	Durchschlag paralleler Isolierstrecken . . . . .	452
10.3	Statistische Isolationskoordination... ^ . . . . .	453
10.4	Grundformen der Isolierungen . . . . . ' . . . ' . . . . .	455

11	Elektroenergietransport . . . . .	457
	<i>von Helmut Böhme</i>	
11.1	Drehstromsystem . . . . .	457
11.1.1	Versoren . . . . .	457
11.1.2	Symmetrisches Drehstromsystem . . . . .	458
11.1.3	Ünsymmetrisches Drehstromsystem . . . . .	459
11.2	Elektroenergiesystem. Netzberechnung . . . . .	463
11.2.1	Dreipolige Darstellung . . . . .	463
11.2.2	Einpolige Darstellung . . . . .	464
11.2.3	Topologie . . . . .	464
11.3	Kurzschluß . . . . .	468
11.4	Transiente innere Schaltüberspannungen . . . . .	469
11.4.1	Unterbrechung kleiner induktiver Ströme. . . . .	470
11.4.2	Unterbrechung kapazitiver Ströme . . . . .	470
11.4.3	Einschwingvorgänge nach Kurzschlußabschaltungen . . . . .	471
11.5	Wanderwellen auf (verlustfreien) Leitungen . . . . .	474
11.6	Freileitungen . . . . .	474
11.7	Kabel . . . . . # . . . . .	476
12	Zuverlässigkeit . . . . .	478
	<i>von Ernst Michler</i>	
12.1	Zuverlässigkeitskenngrößen . . . . .	478
12.1.1	Betrachtungseinheiten ohne Reparatur . . . . .	478
12.1.2	Betrachtungseinheiten mit Reparatur . . . . .	480
12.2	Zuverlässigkeit von Systemen . . . . .	483
12.2.1	Systeme ohne Reserve (Seriensysteme) . . . . .	483
12.2.2	Systeme mit Reserve . . . . .	484
12.2.2.1	Parallelsysteme (heiße, aktive, belastete Reserve) . . . . .	484
12.2.2.2	fc-von-M-Systeme (Auswahlssysteme). . . . .	485
12.2.2.3	Standby-Systeme (kalte, passive, unbelastete Reserve) . . . . .	486
12.2.3	Zuverlässigkeitsnachweis (experimentelle Ermittlung der Ausfallrate bei Exponentialverteilung) . . . . .	488
12.2.3.1	Versuchspläne . . . . .	488
12.2.3.2	Punktschätzungen für die (konstante) Ausfallrate . . . . .	488
12.2.3.3	Bereichsschätzungen für die (konstante) Ausfallrate . . . . .	488
13	Schaltsysteme . . . . .	490
	<i>von Roland Strietzel</i>	
13.1	Schaltalgebra . . . . .	490
13.1.1	Grundfunktionen . . . . .	490
13.1.2	Schaltfunktion . . . . .	490
13.1.3	Rechenregeln und Sätze. . . . .	491
13.1.4	Minimierung von Schaltfunktiohen . . . . .	492

13.2	Kombinatorische Schaltungen	493
13.2.1	Entwurfsalgorithmus	403
13.2.2	Anwendungen	493
i3.1	Sequentielle Schaltungen. Automaten	494
13.3.1	Flipflop-Speicher	494
13.3.2	Automatentypen	494
13.3.3	Entwurfsalgorithmus	495
13.3.4	Anwendungen	495
Register		501